OIPE
APR 24 2002
PATENT & TRADEMARK OFFICE

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
PATENT AND TRADEMARK OFFICE

CLAIM OF PRIORITY

Docket Number: 10191/2165			
Application Number **10/034,606**	Filing Date **Dec. 28, 2001**	Examiner **Not Assigned**	Art Unit 2151
Invention Title **METHOD AND COMMUNICATION FOR DATA EXCHANGE AMONG MULTIPLE USERS INTERCONNECTED OVER A BUS SYSTEM**		Inventor(s) **FUERHER et al.**	

Address to:
Assistant Commissioner for Patents
Washington D.C. 20231

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to: Assistant Commissioner for Patents, Box Missing Parts, Washington, D.C. 20231 on

Date: 3/29/02

Catherine Edmund
Signature

A claim to the Convention Priority Date pursuant to 35 U.S.C. § 119 of German Patent Application No. 100 65 115.1 filed in the German Patent Office on December 28, 2000 is hereby made.

To complete the claim to the Convention Priority Date, a certified copy of the German Patent Application is enclosed.

If any fees are necessary they may be charged to Deposit Account 11–0600.

Dated: 3/29/02

Richard L. Mayer
By: Mary C. Werner Reg No. 30,333

Richard L. Mayer, Reg. No. 22,490
KENYON & KENYON
One Broadway
New York, N.Y. 10004
(212) 425-7200 (telephone)
(212) 425-5288 (facsimile)

© Kenyon & Kenyon 2001

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

OIPE JC4
APR 2 4 2002
PATENT & TRADEMARK OFFICE

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:	100 65 115.1
Anmeldetag:	28. Dezember 2000
Anmelder/Inhaber:	ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE
Bezeichnung:	Verfahren und Kommunikationssystem zum Datenaustausch zwischen mehreren über ein Bussystem miteinander in Verbindung stehenden Teilnehmern
IPC:	G 06 F 13/38

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. Dezember 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Ebert

A 9161
06/00
EDV-L

R.39890

18.12.2000
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart

Verfahren und Kommunikationssystem zum Datenaustausch zwischen mehreren über ein Bussystem miteinander in Verbindung stehenden Teilnehmern

Stand der Technik

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Kommunikationssystem zum Austausch von Daten zwischen mindestens zwei Teilnehmern, die mittels eines Bussystems miteinander in Verbindung stehen. Die Daten sind dabei in Nachrichten enthalten, die von den Teilnehmern über das Bussystem übertragen werden.

Die Erfindung betrifft des weiteren ein Bussystem zum Austausch von Daten zwischen mindestens zwei Teilnehmern eines Kommunikationssytems.

Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung ein Speicherelement für einen Teilnehmer eines Kommunikationssystems, der über ein Bussystem zum Austausch von Daten mit mindestens einem weiteren Teilnehmer in Verbindung steht. Auf dem Speicherelement ist ein Computerprogramm abgespeichert, das auf einem Rechengerät des Teilnehmers, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig ist. Das Speicherelement ist insbesondere als ein Read-Only-Memory, als ein Random-Access-Memory oder als ein Flash-Memory ausgebildet.

Stand der Technik

Die Vernetzung von Steuergeräten, Sensoren und Aktoren mit Hilfe eines Kommunikationssystems hat in den letzten Jahren bei der Herstellung von Kraftfahrzeugen stark zugenommen. Dabei stehen Synergieeffekte durch eine Verteilung von Funktionen auf mehrere Steuergeräte im Vordergrund. In diesem Zusammenhang spricht man von verteilten Systemen. Die Kommunikation zwischen den Teilnehmern des Kommunikationssystems erfolgt in zunehmendem Maße über ein Bussystem. Die Teilnehmer weisen jeweils einen Prozessrechner auf, der über eine Schnittstelle mit einem Kommunikationscontroller verbunden ist, über den der Teilnehmer an das Bussystem angeschlossen ist. Der Kommunikationsverkehr auf dem Bussystem, Zugriffsmechanismen und Empfangsmechanismen, sowie Fehlerbehandlung werden über ein Protokoll geregelt.

Aus dem Stand der Technik ist ein Controller Area Network (CAN)-Protokoll bekannt, das sich im Kraftfahrzeugbereich etabliert hat. Das CAN-Protokoll ist ein ereignisgesteuertes Protokoll, d. h. Protokollaktivitäten wie das Senden einer Nachricht werden durch Ereignisse initiiert, die ihren Ursprung außerhalb des Kommuniaktionssystems haben. Der eindeutige Zugang zu dem Kommunikationssystem wird über eine prioritätsbasierte Bitarbitrierung gelöst. Eine Voraussetzung dafür ist, dass jeder Nachricht eine eindeutige Priorität zugewiesen ist. Das CAN-Protokoll ist sehr flexibel, da ein Hinzufügen weiterer Teilnehmer und Nachrichten problemlos möglich ist, solange noch freie Prioritäten (sog. Message-Identifier) zur Verfügung stehen.

In den Fällen, in denen die durchschnittliche Auslastung des Bussystems relativ niedrig ist, ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilnehmer, der zu senden wünscht, seine Nachricht sofort oder innerhalb einer sehr kurzen Zeit auch tatsächlich senden darf, sehr groß. Da

CAN-Kommunikationssysteme typischerweise so ausgelegt sind, dass die mittlere Auslastung des Bussystems klein genug ist, ist im Regelfall ein sehr schneller Zugriff auf das Bussystem gegeben. Der Worst-Case aus Sicht des Kommunikationssystems, dass nämlich alle Teilnehmer permanent senden wollen, bedeutet in einem CAN-Bussystem dann aber streng genommen eine unendlich lange Latenzzeit. Dies gilt zumindest für diejenigen Nachrichten, deren Priorität relativ niedrig ist.

Für Bussysteme lässt sich eine Wahrscheinlichkeit dafür angeben, dass beim Senden von Nachrichten eine bestimmte Latenzzeit nicht überschritten wird. In Fig. 2 ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzzeiten für ein ereignisgesteuertes Kommunikationssystem dargestellt. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung hat einen relativ scharfen Peek in der Nähe von 0 (die Wahrscheinlichkeit für eine sehr kleine Latenzzeit ist sehr groß), sie erstreckt sich aber bis ins Unendliche (es kann keine maximale Latenzzeit gewährleistet werden). Die Wahrscheinlichkeitsverteilung zeigt, dass ein ereignisorientiertes Kommunikationssystem sehr gut für den Regelfall (sehr große Wahrscheinlichkeiten für kurze Latenzzeiten), aber weniger gut für den Worst-Case geeignet ist. Dies kann noch dadurch verschärft werden, wenn ein Fehler in einem hochprioren Teilnehmer vorliegt, der permanent hochpriorisierte Nachrichten sendet und das Bussystem blockiert. Infolgedessen können Nachrichten mit einer niedrigeren Priorität nicht gesendet werden. Die niederpriorisierten Nachrichten haben dann eine unendlich lange Latenzzeit.

Somit ist ein ereignisorientiertes Bussystem sehr gut geeignet für Applikationen, bei denen der Worst-Case tolerierbar ist, bei denen aber auf eine sehr gute Performance im Regelfall Wert gelegt wird.

Ein relativ neues Protokoll ist das sog. Time-Triggered Protocol for Class C (TTP/C). Dies ist ein deterministisches, nämlich rein zeitgesteuertes, Protokoll, bei dem die Redundanz fest im Protokoll vorgegeben ist. Alle Kommunikationsaktivitäten auf dem Bussystem sind strikt periodisch. Protokollaktivitäten wie das Senden einer Nachricht werden nur durch das Fortschreiten einer (globalen) Zeitbasis ausgelöst. Der Zugang zu dem Bussystem basiert auf die Zuteilung von Zeitbereichen, in denen ein Teilnehmer exklusives Senderecht hat. Das Protokoll ist vergleichsweise unflexibel, da ein Hinzufügen von neuen Teilnehmern nur dann möglich ist, wenn zuvor entsprechende Zeitbereiche freigelassen wurden.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilnehmer Zugang zu dem Bussystem erhält, wenn er es wünscht, ist unabhängig von der vorhandenen Auslastung des Bussystems. In Fig. 3 ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzzeiten für ein deterministisches Kommunikationssystem dargestellt. Die Latenzzeiten hängen nur von der zeitlichen Entfernung zum nächsten Sendezeitpunkt ab. Da der Zugangswunsch eines Teilnehmers außerhalb des Einflusses des Kommunikationssystems entsteht, in der Regel asynchron zu diesem ist, ist die Latenzzeit zwischen Zugangswunsch und erfolgtem Senden einer Nachricht gleich verteilt über das ganze zeitliche Intervall zwischen zwei Sendezeitpunkten. Diese Wahrscheinlichkeitsverteilung ist sehr viel breiter als bei einem ereignisorientierten Bussystem, d. h. die Wahrscheinlichkeit, nach einer sehr kurzen Zeit Zugriff auf das Bussystem zu erhalten, ist deutlich geringer. Diese Wahrscheinlichkeitsverteilung ist jedoch lokalisiert, d. h. die Wahrscheinlichkeit für eine beliebig große Latenzzeit ist Null. Im Regelfall und im Worst-Case sind die Wahrscheinlickeiten gleich groß und es kann - im Gegensatz zu einem ereignisorientierten Kommunikationssystem - eine obere Schranke für die maximale Latenzzeit angegeben

von dem Verfahren zum Datenaustausch der eingangs genannten Art vor, dass die Daten ereignisorientiert über das Bussystem übertragen werden, solange in Abhängigkeit von der Auslastung des Bussystems für jede zu übertragende Nachricht eine vorgebbare Latenzzeit, die zwischen einem Sendewunsch eines Teilnehmers und dem erfolgten Sendevorgang des Teilnehmers verstreicht, sichergestellt werden kann, und anderenfalls die Daten deterministisch über das Bussystem übertragen werden.

Vorteile der Erfindung

Wenn das Kommunikationssystem detektiert, dass endliche maximale Latenzzeiten nicht mehr für alle Nachrichten bzw. Teilnehmer des Bussystems garantiert werden können, erfolgt ein Übergang der Nachrichtenübertragung von einem ereignisgesteuerten in einen zeitgesteuerten Modus. Ein wesentlicher Vorteil eines ereignisgesteuerten Systems, der im Regelfall sehr schnelle Zugriff auf das Bussytem, bleibt komplett erhalten, da der Datenaustausch nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in diesen Fällen wie bei einem ereignisgesteuerten Kommunikationssystem erfolgt. Ein wesentlicher Vorteil eines deterministischen Kommunikationssystems, die Garantie einer maximalen Latenzzeit und damit ein viel stärkerer Determinismus, bleibt bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ebenfalls komplett erhalten, da der Datenaustausch nach dem erfindungsgemäßen Verfahren für große Latenzzeiten genau wie bei einem deterministischen Kommunikationssystem erfolgt.

Der Datenaustausch nach dem erfindungsgemäßen Verfahren eignet sich daher besonders gut für solche Anwendungen, bei denen mindestens eine Nachricht mit den nachfolgenden Eigenschaften existiert:

- Im Normalfall kann die Nachricht durch ein rein

ereignisgesteuertes Protokoll problemlos übertragen werden und die mittlere Latenzzeit ist relativ klein.

- Die mittlere Latenzzeit ist bei einer Übertragung mittels eines rein deterministischen Kommunikationssystems deutlich größer als die mittlere Latenzzeit eines rein ereignisgesteuerten Kommunikationssystems. Das Verhalten des Kommunikationssystems bei einer mittleren Latenzzeit eines rein deterministischen Kommunikationssystems ist zwar noch tolerierbar (zumindest für einen begrenzten Zeitraum, z. B. für mehrere Stunden während des gesamten Kraftfahrzeuglebens), es ist aber deutlich schlechter als bei einer mittleren Latenzzeit eines rein ereignisgesteuerten Systems, wobei dieses Verhalten nicht über die gesamte Kraftfahrzeuglebensdauer tolerierbar ist.
- Eine Latenzzeit, die wesentlich größer ist als die mittlere Latenzzeit eines rein deterministischen Kommunikationssystems (z. B. mehr als doppelt so groß), ist nicht tolerierbar.

Bei der Entwicklung eines Kommunikationssystems wird für jede über das Kommunikationssystem zu übertragende Nachricht eine Forderung nach einer maximalen Latenzzeit, innerhalb der die Nachricht übertragen sein muss, festgelegt. Das Kommunikationssystem erfüllt in zeitlicher Hinsicht seine Aufgabe dann nicht, wenn es mindestens eine der zu übertragenden Nachrichten nicht innerhalb der festgelegten maximalen Latenzzeit übermitteln kann. Bei einem ereignisgesteuerten Protokoll bedeutet ein Bussystem ohne Auslastung immer, dass es gegenwärtig keine Nachricht gibt, die irgendeiner der Teilnehmer senden möchte. Aus Sicht des Kommunikationssystems ist der Zustand dann unkritisch, wenn hinreichend häufig ein Bussystem ohne Auslastung auftritt. Es bietet sich daher an, den

kritischen Zustand, zu dem von einer ereignisorientierten auf eine deterministische Datenübertragung umgeschaltet wird, dadurch zu definieren, dass mindestens während einer bestimmten Zeit eine solche Pause (Bussystem ohne Auslastung) auftritt.

Dazu wird gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass die zeitliche Auslastung des Bussystems beobachtet wird und davon ausgegangen wird, dass nicht für jede zu übertragende Nachricht die vorgebbare Latenzzeit sichergestellt werden kann, falls eine ununterbrochene zeitliche Auslastung des Bussytems einen vorgebbaren zeitlichen Schwellenwert überschreitet. Gemäß der Weiterbildung wird also eine physikalische Zeit beobachtet. Falls eine ununterbrochene zeitliche Auslastung des Bussystems einen vorgebbaren zeitlichen Schwellenwert überschreitet oder falls eine Anzahl von unmittelbar nacheinander über das Bussystem übertragene Nachrichten einen vorgebbaren Schwellenwert überschreitet, muss das Kommunikationssystem annehmen, dass zu viele Teilnehmer immer senden wollen, und für niederpriore Nachrichten kann eine maximale Latenzzeit nicht mehr garantiert werden.

Alternativ wird vorgeschlagen, dass die Auslastung des Bussystems beobachtet wird und davon ausgegangen wird, dass nicht für jede zu übertragende Nachricht die vorgebbare Latenzzeit sichergestellt werden kann, falls eine Anzahl von unmittelbar nacheinander über das Bussystem übertragenen Nachrichten einen vorgebbaren Schwellenwert überschreitet. Die aktuelle Anzahl der unmittelbar nacheinander übertragenen Nachrichten kann entweder vor oder nach erfolgter Übermittlung der Nachrichten um 1 oder einen beliebigen anderen Wert erhöht werden. Sobald eine Pause auf dem Bussystem (Bussystem ohne Auslastung) auftritt, wird die Anzahl wieder auf Null oder einen

beliebigen anderen Wert initialisiert. Die alternative Ausführungsform hat den Vorteil, dass sie besonders einfach zu realisieren ist.

Insbesondere in verteilt arbeitenden Bussystemen kennen alle Teilnehmer des Kommunikationssystems die Schwellenwerte und können den kritischen Zustand somit gleichzeitig erkennen. Insbesondere bei Kommunikationssystemen mit einem Master-Teilnehmer ist es jedoch denkbar, dass der kritische Zustand lediglich von einem Teilnehmer oder von einigen ausgewählten Teilnehmern detektiert wird.

Um das Erkennen des kritischen Zustands fehlertolerant zu gestalten, wird gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass die unmittelbar nacheinander von einem Teilnehmer aus über das Bussystem übertragenen Nachrichten von dem Teilnehmer mitgezählt werden und die aktuelle Anzahl der unmittelbar nacheinander übertragenen Nachrichten über das Bussystem an die übrigen Teilnehmer des Bussystems übertragen wird. Die aktuelle Anzahl der unmittelbar nacheinander übertragenen Nachrichten kann bspw. in einer jeweils zu übertragenden Nachricht mit übertragen werden. Jeder Teilnehmer hat die Möglichkeit zur Überprüfung, zur Fehlerdetektion und ggf. zur Fehlerbehandlung. Bei einem CAN-Bussystem kann die Fehlerbehandlung bspw. darin bestehen, dass ein Error Frame gesendet oder eine entsprechende Non-Acknowledgement (NACK)-Flag gesetzt wird.

Wenn im Verlauf einer Datenübertragung ein Fehler in der übertragenen Nachricht festgestellt wird, wird diese durch Senden eines Error Frames auf dem Bussystem zerstört. Wenn ein Teilnehmer aufgrund eines Fehlers ständig Error Frames aussendet, werden sämtliche über das Bussystem übertragenen Nachrichten zerstört und ein Datenaustausch über das

Bussystem ist nicht mehr möglich. Das Problem, dass ein fehlerbehafteter Teilnehmer alle Nachrichten zerstört, kann bspw. über Error Counters gelöst werden.

Die Übertragung der aktuellen Anzahl von nacheinander übertragenen Nachrichten kann auch ohne eine zusätzliche Belastung des Busssystems (Overhead) erfolgen. Dazu kann bspw., wann immer ein Cyclic Redundancy Check (CRC) oder eine andere Prüfsumme zur Absicherung des Dateninhalts einer Nachricht mit der Nachricht verschickt wird, der CRC oder die Prüfsumme nicht nur über die Daten, sondern über die Daten und die Anzahl gemeinsam erfolgen, ohne dass die Länge des entstehenden CRC-Gliedes oder der Prüfsumme verändert wird. Durch eine geeignete Wahl des CRC-Polynoms ist es auch möglich, eine hinreichend große Hamming-Distanz zu erzeugen, so dass die Übermittlung des CRC-Gliedes oder der Prüfsumme sogar fehlertolerant möglich ist. Der Empfänger bildet eine CRC-Prüfsumme über die empfangenen Daten vereinigt mit seiner Sicht auf die Anzahl der unmittelbar nacheinander übertragenen Nachrichten. Bei einer Differenz wird ein Fehler bei der Datenübertragung oder bei der Anzahl festgestellt. Bei einer hinreichend großen Hamming-Distanz kann sogar festgestellt werden, wo der Fehler liegt. In diesem Fall geschieht die Übermittlung der Anzahl der unmittelbar nacheinander übertragenen Nachrichten ohne zusätzlichen Kommunikationsaufwand und die entsprechende Detektion des kritischen Zustandes ist darüber hinaus fehlertolerant.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass von einer deterministischen Übertragung der Daten über das Bussystem zu einer ereignisorientierten Übertragung umgeschaltet wird, wenn ein vorgegebenes Ende der deterministischen Übertragung erreicht ist. Es liegt im Wesen einer deterministischen Datenübertragung, dass das Ende der

Datenübertragung vorgegeben ist. Wenn dieses Ende erreicht ist, wird das Kommunikationssystem wieder zurück in die ereignisorientierte Übertragung umgeschaltet.

Für den Zielzustand, bei dem die Daten deterministisch über das Bussystem übertragen werden und maximale Latenzzeiten garantiert werden können, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die deterministisch übertragenen Daten zeitgesteuert, insbesondere Time-Division-Multiple-Access (TDMA)-basiert übertragen werden. In einem TDMA-basierten Kommunikationssystem wechseln sich alle Nachrichten, für die eine maximale Latenzzeitgarantie gegeben wird, periodisch ab. Im Vorfeld wird in einem "Fahrplan" bereits festgelegt, welcher Teilnehmer in welchem Zeitschlitz senden darf. Der "Fahrplan" muss den Kommunikationscontrollern der Teilnehmer bereits bei der Entwicklung bekannt gegeben werden. In dem "Fahrplan" müssen nur diejenigen Nachrichten vorkommen, für die eine maximale Latenzzeitgarantie gegeben wird. Der "Fahrplan" ist vorzugsweise lediglich auf eine ausreichende (nicht auf eine optimale) Performance der kritischen Funktionen ausgelegt.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die deterministisch übertragenen Daten mit dynamisch veränderbaren Prioritäten der Nachrichten oder von Nachrichtengruppen prioritätsshiftbasiert übertragen werden. Eine prioritätsshiftbasierte Datenübertragung über das Bussystem beruht auf einer dynamischen Veränderung der Prioritäten der zu übertragenden Nachrichten während des Betriebs des Bussystems. Bei einer prioritätsshiftbasierten Übertragung muss im Vorfeld kein "Fahrplan" bekannt sein. Trotzdem kann für die Nachrichten eine endliche maximale

Latenzzeit garantiert werden. Die prioritätsshiftbasierte Datenübertragung ist ausführlich in einer weiteren deutschen Patentanmeldung derselben Anmelderin (Aktenzeichen der Anmelderin: R.39890) mit demselben Anmeldetag wie die vorliegende Patentanmeldung beschrieben. Auf diese Anmeldung wird ausdrücklich Bezug genommen.

Da alle Teilnehmer des Kommunikationssystems den kritischen Zustand gleichzeitig und fehlertolerant detektieren können, kann auch der Übergang selbst von der ereignisorientierten zu der deterministischen Datenübertragung und wieder zurück ebenfalls fehlertolerant erfolgen. Für den Übergang gibt es mehrere Möglichkeiten.

Zum einen kann der Übergang durch eine explizite Nachricht ausgelöst werden. Diese Nachricht wird von dem höchstprioren Teilnehmer ausgesandt. Falls dieser die explizite Nachricht nicht aussendet, muss der Teilnehmer mit der nächsthöheren Priorität diese Aufgabe übernehmen. Je nachdem, wie das ereignisgesteuerte Protokoll aussieht, von dem ausgegangen wird, kann die Übertragung der expliziten Nachricht ohne einen zusätzlichen Zeitverlust erfolgen. Bei einer Bitarbitrierung, wie sie bspw. bei einem CAN-Bussystem realisiert ist, gibt es n Teilnehmer, die eine entsprechende Nachricht absenden dürfen, wobei n auch das Fehlertoleranzlevel charakterisiert. Die hohen Prioritäten sind für diese Nachricht reserviert.

Nach der Detektion des kritischen Zustandes in dem Kommunikationssystem muss jeder der Teilnehmer versuchen, die explizite Nachricht zu senden. Falls die Prioritäten für die expliziten Nachrichten sehr hoch sind, müssen alle übrigen Teilnehmer dann Sendeverbot erhalten. Der eigentliche Sendevorgang und ggf. auch der Inhalt der expliziten Nachricht triggern und bestimmen dann den Ablauf der sich anschließenden deterministischen Datenübertragung.

Eine andere Möglichkeit ist eine implizite Benachrichtigung der Teilnehmer des Kommunikationssystems über das Vorliegen eines kritischen Zustands. Dabei bewirkt bereits die Detektion eines kritischen Zustands das Umschalten der Datenübertragung. Alle Kommunikationscontroller schalten von der ereignisorientieren Datenübertragung zu der deterministischen Datenübertragung und benützen für die weitere Datenübertragung dann das entsprechende Protokoll, sobald der kritische Zustand (fehlertolerant) entdeckt wird.

Wann dann von der deterministischen Datenübertragung wieder zurück zu der ereignisorientierten Datenübertragung geschaltet wird, hängt von der Art der gewählten deterministischen Datenübertragung ab. Eine Möglichkeit ist es, in dem Nachrichtenformat der deterministischen Datenübertragung ein Statusbit unterzubringen, das angibt, ob die Senderapplikation tatsächlich noch die häufige Sendefrequenz für sich in Anspruch nehmen möchte oder nicht. Falls dann über hinreichend viele Perioden des deterministischen Systems hinreichend wenige Teilnehmer den Wunsch anmelden, eine Nachricht zu übertragen, wird wieder in den ereignisorientierten Modus geschaltet. Auch das Zurückschalten kann explizit oder implizit erfolgen.

Eine grundsätzlich andere Möglichkeit besteht darin, dass eine Senderapplikation, die die häufige Sendefrequenz nicht mehr für sich in Anspruch nehmen möchte, eine sog. "Dummy-Nachricht" überträgt, deren Existenz die gleiche Information wie das obige Statusbit enthält. Die Anzahl der gesendeten "Dummy-Nachrichten" kann detektiert werden und, falls über mehrere Perioden des deterministischen Systems hinweg genug "Dummy-Nachrichten" gesendet werden, kann wieder zurück in den ereignisorientierten Modus geschaltet werden.

Als eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von dem Kommunikationssystem der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass das Kommunikationssystem Mittel zur Beobachtung der Auslastung des Bussystems, Mittel für eine ereignisorientierte Übertragung der Daten über das Bussystem, Mittel für eine deterministische Übertragung der Daten über das Bussystem und Mittel zur Wahl einer ereignisorientierten oder einer deterministischen Übertragung aufweist, wobei die Mittel zur Wahl eine ereignisorientierte Übertragung wählen, solange in Abhängigkeit von der Auslastung des Bussystems für jede zu übertragende Nachricht eine vorgebbare Latenzzeit, die zwischen einem Sendewunsch eines Teilnehmers und dem erfolgten Sendevorgang des Teilnehmers verstreicht, sichergestellt werden kann, und anderenfalls eine deterministische Übertragung wählen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Kommunikationssystem Mittel zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens aufweist.

Als noch eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von dem Bussystem der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass mit dem Bussystem das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt wird.

Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Form eines Speicherelements, das für einen Teilnehmer eines Kommunikationssystems, der über ein Bussystem zum Austausch von Daten mit mindestens einem weiteren Teilnehmer in Verbindung steht, vorgesehen ist. Dabei ist auf dem Speicherelement ein Computerprogramm abgespeichert, das auf einem Rechengerät des Teilnehmers, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig und zur Ausführung des

erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. In diesem Fall wird also die Erfindung durch ein auf dem Speicherelement abgespeichertes Computerprogramm realisiert, so dass dieses mit dem Computerprogramm versehene Speicherelement in gleicher Weise die Erfindung darstellt wie das Verfahren, zu dessen Ausführung das Computerprogramm geeignet ist. Als Speicherelement kann insbesondere ein elektrisches Speichermedium zur Anwendung kommen, bspw. ein Read-Only-Memory, ein Random-Access-Memory oder ein Flash-Memory.

Die Erfindung betrifft schließlich auch ein Computerprogramm, das zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist, wenn es auf einem Rechengerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, eines Teilnehmers eines Kommunikationssystems, der über ein Bussystem zum Austausch von Daten mit mindestens einem weiteren Teilnehmer in Verbindung steht, abläuft. Besonders bevorzugt ist dabei, wenn das Computerprogramm auf einem Speicherelement, insbesondere auf einem Flash-Memory abgespeichert ist.

Zeichnungen

Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbespielen der Erfindung, die in der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung. Es zeigen:

Figur 1 ein erfindungsgemäßes Kommunikationssystem gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

Figur 2 eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzzeiten in einem ereignisgesteuerten Kommunikationssystem;

Figur 3 eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzzeiten in einem deterministischen Kommunikationssystem;

Figur 4 eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzzeiten in einem erfindungsgemäßen Kommunikationssystem; und

Figur 5 ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß einer bevorzugten Ausführungsform.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Figur 1 ist ein erfindungsgemäßes Kommunikationssystem in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet. Das Kommunikationssystem 1 umfasst mehrere Teilnehmer 2, 3, 4, die mittels eines verteilt arbeitenden Bussystems 5 zum Austausch von Daten miteinander in Verbindung stehen. Die Teilnehmer 2, 3, 4 sind bspw. Steuergeräte eines Kraftfahrzeugs. Die auszustauschenden Daten sind in Nachrichten enthalten, die von den Teilnehmern 2, 3, 4 über das Bussystem 5 übertragen werden. Für die Teilnehmer 2, 3, 4 des Bussystems 5 liegt eine gemeinsame globale Zeitbasis t_gl vor, die zu einem vorgebbaren Zeitpunkt t_synch auf eine externe Referenzzeit t_ref synchronisiert wird.

Die Teilnehmer 2, 3, 4 umfassen ein Rechengerät (sog. Prozessrechner), der als ein Mikroprozessor 6 ausgebildet ist. Auf dem Mikroprozessor 6 ist ein Computerprogramm ablauffähig, das in einem als ein Flash-Memory ausgebildeten Speicherelement 7, abgespeichert ist. Das

Computerprogramm ist zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet. Das Computerprogramm wird vor oder während der Abarbeitung in den Mikroprozessor 6 geladen. Die Teilnehmer 2, 3, 4 umfassen außerdem einen Kommunikationscontroller 8, der über eine Schnittstelle 9 mit dem Mikroprozessor 6 in Verbindung steht. Der Kommunikationscontroller 8 stellt eine Verbindung zwischen dem Teilnehmer 2, 3, 4 und dem Bussystem 5 her.

In Figur 2 ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzzeiten t_L für ein ereignisgesteuertes Kommunikationssystem dargestellt. Eine kurze Latenzzeit t_L kleiner t_1 kommt bspw. mit einer Wahrscheinlichkeit p von etwa 99,9% vor. Mit einer Wahrscheinlichkeit p von etwa 0,00001 = 10ppm kommt eine sehr große Latenzzeit t_L größer $t_2 \approx 100 \cdot t_1$ vor. Anhand der relativ hohen Wahrscheinlichkeit p einer kurzen Latenzzeit t_L und der theoretisch möglichen unendlichen Latenzzeit t_L ist zu erkennen, dass ein ereignisorientiertes Protokoll sehr gut für den Regelfall (sehr große Wahrscheinlichkeiten p für kurze Latenzzeiten t_L), aber weniger gut für den Worst-Case geeignet ist.

In Figur 3 ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzzeiten t_L für ein deterministisches Kommunikationssystem dargestellt. Dabei handelt es sich um eine Gleichverteilung. Mit einer relativ geringen Wahrscheinlichkeit p von etwa 10% kommt eine kurze Latenzzeit t_L kleiner t_1 vor. Die größte vorkommende Latenzzeit t_L ist $t_3 \approx 10 \cdot t_1$. Die Wahrscheinlichkeit p für eine sehr große Latenzzeit t_L größer t_3 ist 0. Die Latenzzeiten t_L hängen nur von der zeitlichen Entfernung zum nächsten Sendezeitpunkt ab. Im Regelfall und im Worst-Case sind die Wahrscheinlickeiten gleich groß und es kann - im Gegensatz zu einem ereignisorientierten Kommunikationssystem - eine obere Schranke für die maximale

Latenzzeit t_2 angegeben werden. Damit sind deterministische Kommunikationssysteme geeignet für Applikationen, in denen der Worst-Case toleriert werden muss, selbst wenn man damit für den Regelfall Einschränkungen hinnehmen muss.

Gemäß der vorliegenden Erfindung werden die Daten ereignisorientiert über das Bussystem 5 übertragen, so lange in Abhängigkeit von der Auslastung des Bussystems 5 für jede zu übertragende Nachricht eine vorgebbare Latenzzeit t_L sichergestellt werden kann. Anderenfalls werden die Daten deterministisch über das Bussystem 5 übertragen. Die Datenübertragung wird von ereignisorientert auf determinsitisch umgeschaltet, falls ein kritischer Zustand detektiert wird, d. h. nicht für jede zu übertragende Nachricht eine vorgebbare Latenzzeit t_L sichergestellt werden kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand der Figur 5 näher erläutert. Das Verfahren beginnt in einem Funktionsblock 10. In einem Funktionsblock 11 wird eine ereignisorientierte Datenübertragung über das Bussystem 5 eingestellt. Sobald in dem Kommunikationssystem 1 ein kritischer Zustand detektiert wird, wird auf eine deterministische Datenübertragung umgeschaltet. Ein kritischer Zustand bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Auslastung des Bussystems nicht für jede zu übertragende Nachricht eine vorgebbare Latenzzeit t_L gewährleistet werden kann. Ein kritischer Zustand wird in Abfrageblock 12 detektiert. Falls kein kritischer Zustand vorliegt, wird zu dem Funktionsblock 11 verzweigt und die Daten werden weiterhin ereignisgesteuert über das Bussystem 5 übertragen. Falls jedoch ein kritischer Zustand detektiert wird, wird in einem Funktionsblock 13 auf die deterministische Datenübertragung umgeschaltet.

Ein kritischer Zustand eines Kommunikationssystems 1 liegt

dann vor, wenn alle Teilnehmer 2, 3, 4 kontinuierlich senden möchten. Aus Sicht des Kommunikationssystems 1 ist der Zustand dann unkritisch, wenn das Bussystem 5 hinreichend häufig ohne Auslastung ist. Es bietet sich daher an, den kritischen Zustand dadurch zu definieren, dass mindestens während einer bestimmten Zeit eine solche Pause (Bussystem 5 ohne Auslastung) auftritt. Dazu kann bspw. die zeitliche Auslastung des Bussystems 5 überwacht werden. Ein kritischer Zustand liegt dann vor, wenn das Bussystem 5 für einen Zeitraum, der einen vorgebbaren Schwellenwert überschreitet, ununterbrochen ausgelastet ist. Alternativ kann auch die Anzahl der über das Bussystem 5 übertragenen Nachrichten betrachtet werden. Ein kritischer Zustand liegt dann vor, wenn die Anzahl der über das Bussystem 5 nacheinander ohne Pause übertragenen Nachrichten einen vorgebbaren Schwellenwert überschreitet.

Es liegt im Wesen einer deterministischen Datenübertragung, dass das Ende der Datenübertragung von vornherein vorgegeben ist. In einem Abfrageblock 14 wird überprüft, ob das Ende der deterministischen Datenübertragung erreicht ist. Falls dem so ist, verzweigt das Verfahren zu dem Funktionsblock 11 und das Kommunikationssystem 1 wird wieder zurück in die ereignisorientierte Übertragung umgeschaltet. Falls das Ende der deterministischen Datenübertragung noch nicht erreicht ist, wird zu dem Funktionsblock 13 verzweigt, und die Daten werden weiterhin deterministisch übertragen.

In dem Abfrageblock 14 kann alternativ oder zusätzlich zu der Ermittlung des Endes der deterministischen Datenübertragung auch überprüft werden, ob die Auslastung des Bussystems 5 eine deterministische Datenübertragung überhaupt noch erforderlich macht. Es wäre denkbar noch vor Erreichen des Endes der deterministischen Datenübertragung in die ereignisorientierte Datenübertragung umzuschalten,

falls die Auslastung des Bussystems 5 unter einen vorgebbaren Schwellenwert fällt.

In Figur 4 ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Latenzzeiten t_L in dem erfindungsgemäßen Kommunikationssystem 1 dargestellt. Für kleine Latenzzeiten t_L stimmt die Verteilung mit der aus Figur 2 bekannten Verteilung überein. Anstelle der unendlichen Ausdehnung der Verteilung wird für große Latenzzeiten t_L die unterhalb der Verteilung liegende Fläche in eine Gleichverteilung gezwängt, so dass das Integral unterhalb der Verteilung nach wie vor 1 ist. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung für sehr große Latenzzeiten t_L 0. Beim Übergang von der ereignisorientierten Übertragung (von 0 bis t_2-t_3) zu der deterministischen Übertragung (von t_2-t_3 bis t_2) ist in Figur 4 ein Sprung der Wahrscheinlichkeitsverteilung zu erkennen. Die Höhe der Verteilung kann durch geeignetes Verschieben von t_2 jedoch beliebig variiert werden, so dass sich ohne weiteres ein kontinuierlicher Übergang von der ereignisorientierten zu der deterministischen Übertragung realisieren läßt.

Mit den obigen Beispielzahlen ist die Wahrscheinlichkeit p für kurze Latenzzeiten t_L kleiner t_1 nach wie vor sehr groß, nämlich 99,9%. Ab einem Zeitpunkt t_2-t_3 ist die gesamte restliche Wahrscheinlichkeit p in dem Intervall von t_2-t_3 bis t_3 gleichverteilt, so dass die Wahrscheinlichkeit p für eine Latenzeit größer t_2 0 ist.

18.12.2000
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart

Ansprüche

1. Verfahren zum Austausch von Daten zwischen mindestens zwei Teilnehmern (2, 3, 4), die mittels eines Bussystems (5) miteinander in Verbindung stehen, wobei die Daten in Nachrichten enthalten sind, die von den Teilnehmern (2, 3, 4) über das Bussystem (5) übertragen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Daten ereignisorientiert über das Bussystem (5) übertragen werden, so lange in Abhängigkeit von der Auslastung des Bussystems (5) für jede zu übertragende Nachricht eine vorgebbare Latenzzeit (t_L), die zwischen einem Sendewunsch eines Teilnehmers (2, 3, 4) und dem erfolgten Sendevorgang des Teilnehmers (2, 3, 4) verstreicht, sichergestellt werden kann, und anderenfalls die Daten deterministisch über das Bussystem (5) übertragen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zeitliche Auslastung des Bussystems (5) beobachtet wird und davon ausgegangen wird, dass nicht für jede zu übertragende Nachricht die vorgebbare Latenzzeit (t_L) sichergestellt werden kann, falls eine ununterbrochene zeitliche Auslastung des Bussytems (5) einen vorgebbaren zeitlichen Schwellenwert überschreitet.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Auslastung des Bussystems (5) beobachtet wird und davon ausgegangen wird, dass nicht für jede zu übertragende Nachricht die vorgebbare Latenzzeit (t_L) sichergestellt

werden kann, falls eine Anzahl von unmittelbar nacheinander über das Bussystem (5) übertragenen Nachrichten einen vorgebbaren Schwellenwert überschreitet.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die unmittelbar nacheinander von einem Teilnehmer (2, 3, 4) aus über das Bussystem (5) übertragenen Nachrichten von dem Teilnehmer (2, 3, 4) mitgezählt werden und die aktuelle Anzahl der unmittelbar nacheinander übertragenen Nachrichten über das Bussystem (5) an die übrigen Teilnehmer (2, 3, 4) des Bussytems (5) übertragen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle Anzahl der unmittelbar nacheinander übertragenen Nachrichten in einen Cyclic Redundancy Check (CRC) oder in eine andere Prüfsumme zur Absicherung des Dateninhalts einer Nachricht mit eingerechnet und zusammen mit der Nachricht übertragen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der CRC oder eine andere Prüfsumme aus dem Dateninhalt der Nachricht und der aktuellen Anzahl der unmittelbar nacheinander übertragenen Nachrichten gemeinsam gebildet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass von einer deterministischen Übertragung der Daten über das Bussystem (5) zu einer ereignisorientierten Übertragung umgeschaltet wird, wenn ein vorgegebenes Ende der deterministischen Übertragung erreicht ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die deterministisch übertragenen Daten zeitgesteuert, insbesondere Time-Division-Multiple-Access (TDMA)-basiert, übertragen werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die deterministisch übertragenen Daten mit dynamisch veränderbaren Prioritäten der Nachrichten oder von Nachrichtengruppen prioritätsshiftbasiert übertragen werden.

10. Kommunikationssystem (1) mit mindestens zwei Teilnehmern (2, 3, 4) und einem Bussystem (5), über das die Teilnehmer (2, 3, 4) miteinander in Verbindung stehen, zum Austausch von Daten zwischen den Teilnehmern (2, 3, 4), wobei die Daten in Nachrichten enthalten sind, die von den Teilnehmern (2, 3, 4) über das Bussystem (5) übertragbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Kommunikationssystem (1) Mittel zur Beobachtung der Auslastung des Bussystems (5), Mittel für eine ereignisorientierte Übertragung der Daten über das Bussystem (5), Mittel für eine deterministische Übertragung der Daten über das Bussystem (5) und Mittel zur Wahl einer ereignisorientierten oder einer deterministischen Übertragung aufweist, wobei die Mittel zur Wahl eine ereignisorientierte Übertragung wählen, so lange in Abhängigkeit von der Auslastung des Bussystems (5) für jede zu übertragende Nachricht eine vorgebbare Latenzzeit (t_L), die zwischen einem Sendewunsch eines Teilnehmers (2, 3, 4) und dem erfolgten Sendevorgang des Teilnehmers (2, 3, 4) verstreicht, sichergestellt werden kann, und anderenfalls eine deterministische Übertragung wählen.

11. Kommunikationssystem (1) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass es Mittel zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 2 bis 9 aufweist.

12. Bussystem (5) zum Austausch von Daten zwischen mindestens zwei Teilnehmern (2, 3, 4) eines Kommunikationssytems (1), dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Bussystem (5) ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1

bis 9 ausgeführt wird.

13. Speicherelement (7), insbesondere Read-Only-Memory, Random-Access-Memory oder Flash-Memory, für einen Teilnehmer (2, 3, 4) eines Kommunikationssystems (1), der über ein Bussystem (5) zum Austausch von Daten mit mindestens einem weiteren Teilnehmer (2, 3, 4) in Verbindung steht, auf dem ein Computerprogramm abgespeichert ist, das auf einem Rechengerät des Teilnehmers, insbesondere auf einem Mikroprozessor (6), ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 geeignet ist.

14. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 geeignet ist, wenn es auf einem Rechengerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor (6), eines Teilnehmers (2, 3, 4) eines Kommunikationssystems (1), der über ein Bussystem (5) zum Austausch von Daten mit mindestens einem weiteren Teilnehmer (2, 3, 4) in Verbindung steht, abläuft.

15. Computerprogramm nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass es auf einem Speicherelement (7), vorzugsweise auf einem Flash-Memory, abgespeichert ist.

R.39890

18.12.2000
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart

Verfahren und Kommunikationssystem zum Datenaustausch zwischen mehreren über ein Bussystem miteinander in Verbindung stehenden Teilnehmern

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Kommunikationssystems (1) zum Austausch von Daten zwischen mindestens zwei Teilnehmern (2, 3, 4), die mittels eines Bussystems (5) miteinander in Verbindung stehen. Die Daten sind in Nachrichten enthalten, die von den Teilnehmern (2, 3, 4) über das Bussystem (5) übertragen werden. Um den Austausch von Daten zwischen den Teilnehmern (2, 3, 4) dahingehend zu verbessern, dass einerseits im Regelfall das Senden von Nachrichten mit einer geringen Latenzzeit (t_L) mit einer hohen Wahrscheinlichkeit (p) möglich ist und andererseits im Worst-Case eine endliche maximale Latenzzeit (t_2) gewährleistet werden kann, wird vorgeschlagen, dass die Daten ereignisorientiert über das Bussystem (5) übertragen werden, so lange in Abhängigkeit von der Auslastung des Bussystems (5) für jede zu übertragende Nachricht eine vorgebbare Latenzzeit (t_L), die zwischen einem Sendewunsch eines Teilnehmers (2, 3, 4) und dem erfolgten Sendevorgang des Teilnehmers (2, 3, 4) verstreicht, sichergestellt werden kann, und anderenfalls die Daten deterministisch über das Bussystem (5) übertragen werden. (Figur 4)

R. 39890

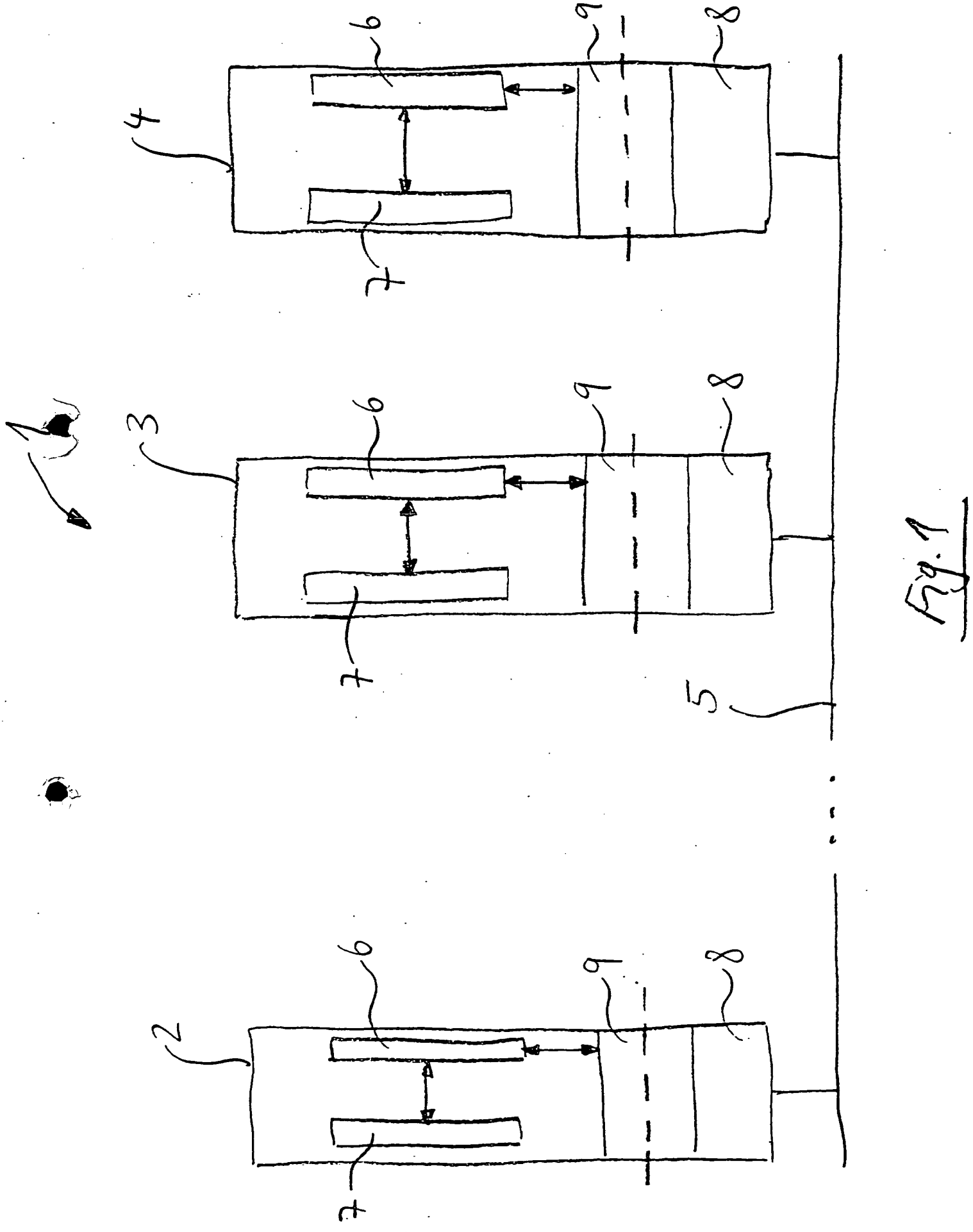


Fig. 1

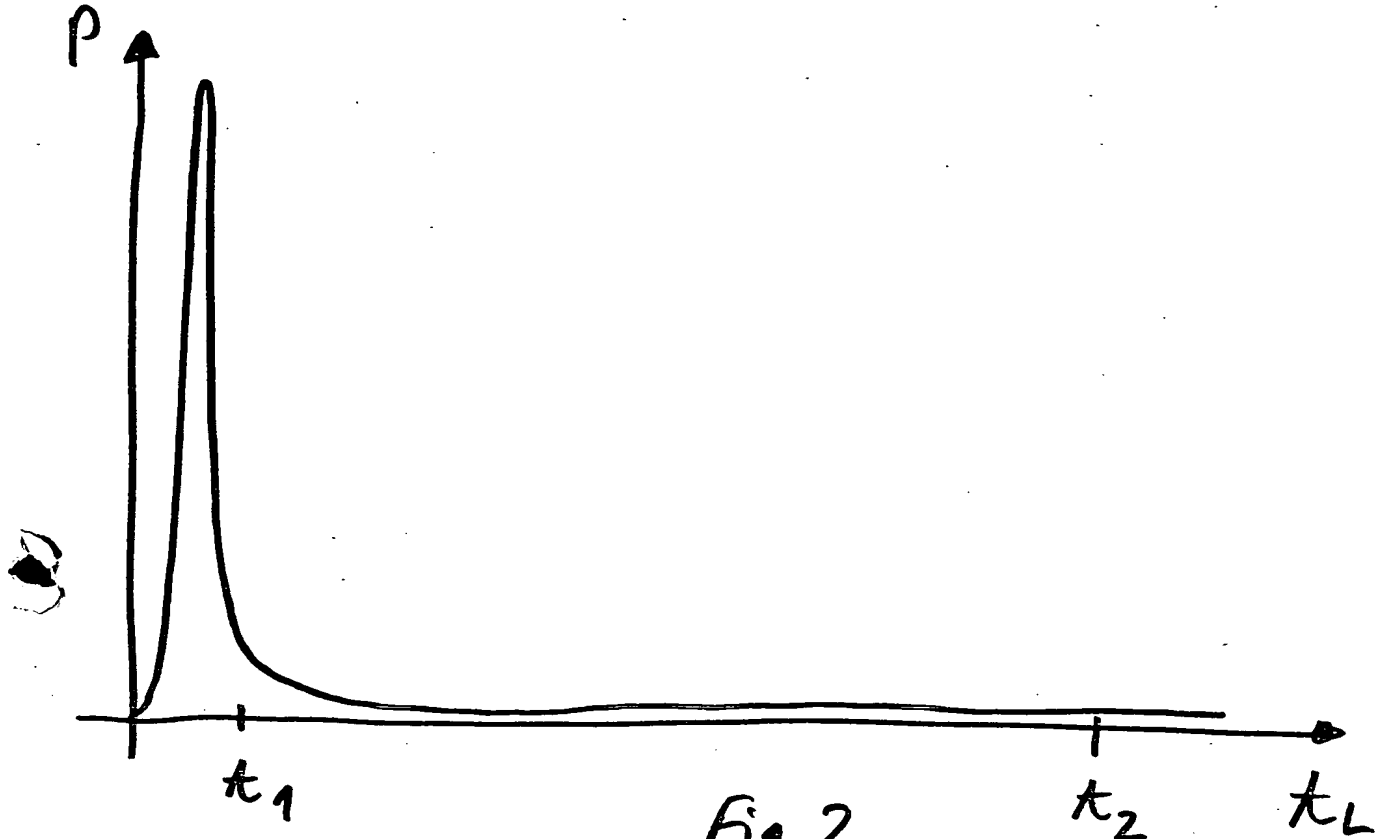


Fig. 2

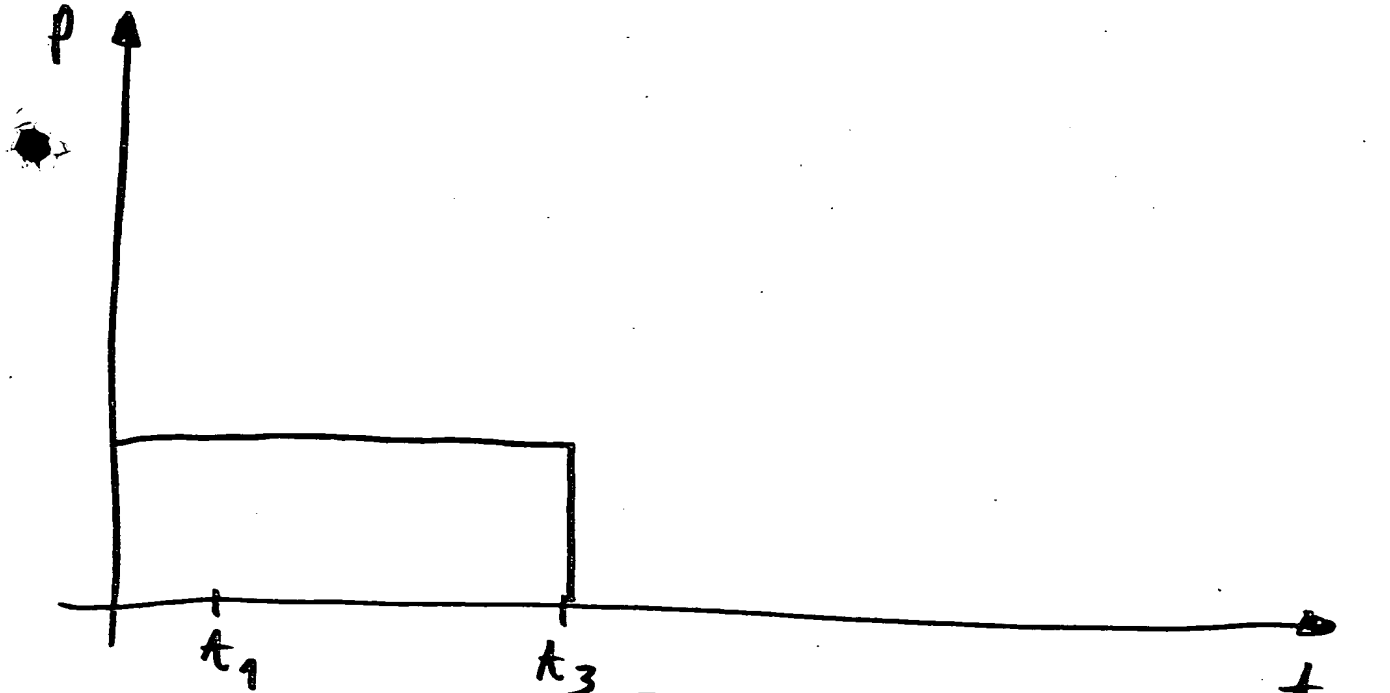


Fig. 3

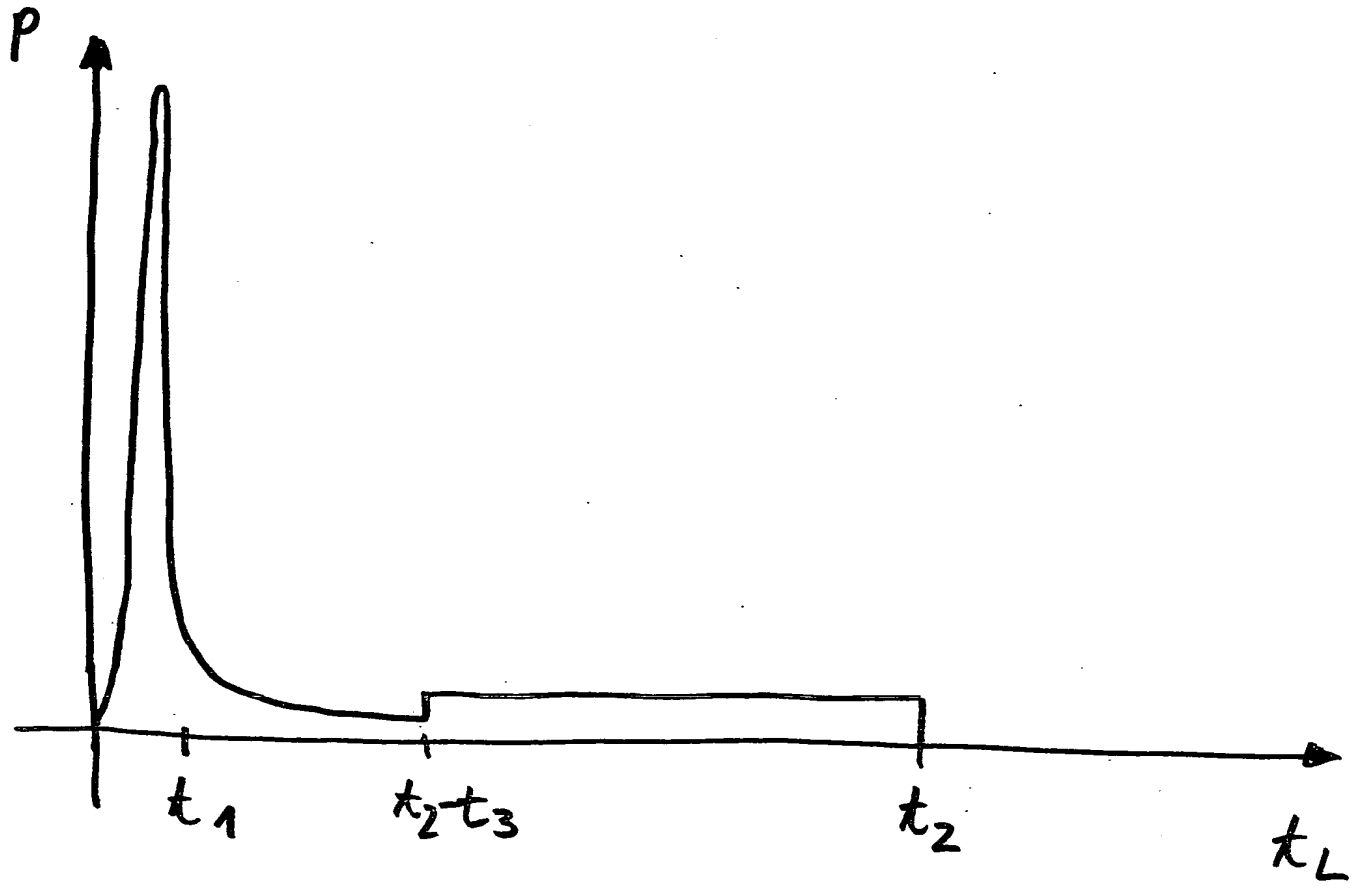


Fig. 4

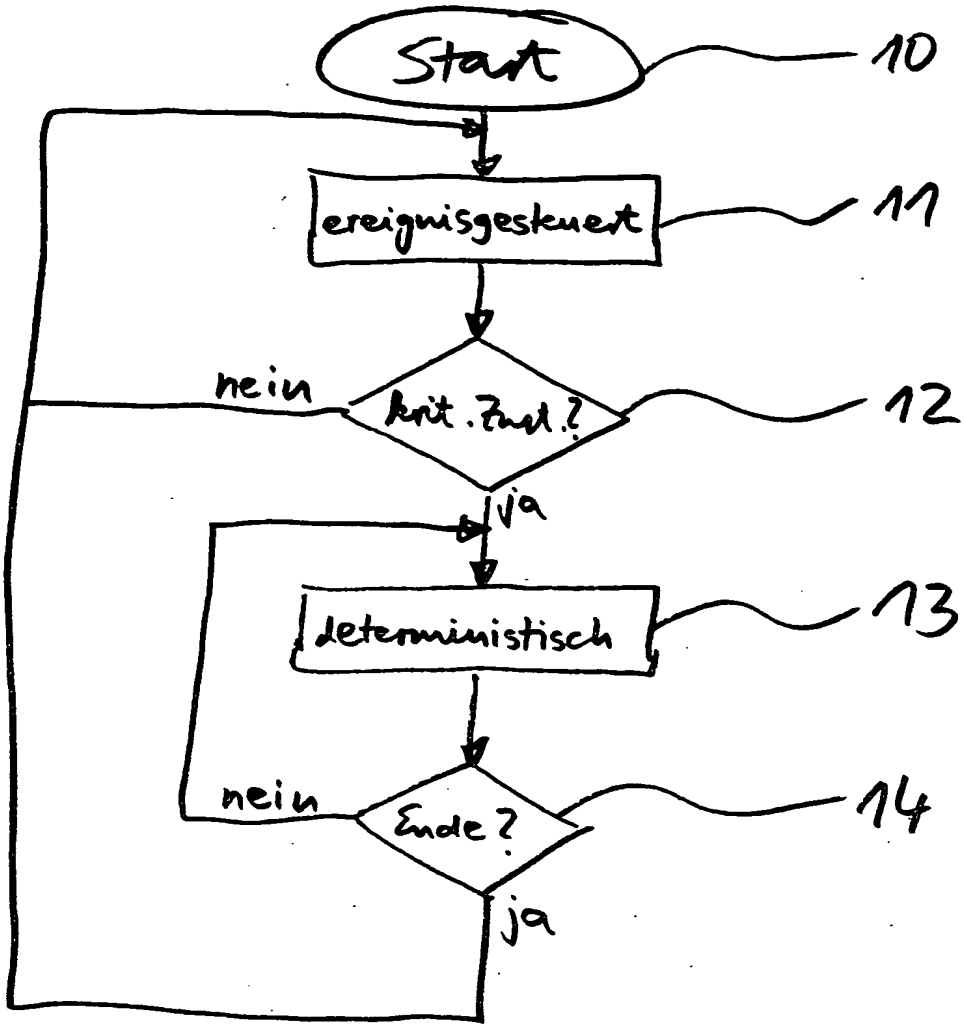

Start
10
ereignisgesteuert
11
nein
krit. Zust.?
12
ja
deterministisch
13
nein
Ende?
14
ja

Fig. 5

US 1003460605P1

Creation date: 05-25-2004
Indexing Officer: MHAKIM - MUZAMIL HAKIM
Team: OIPEBackFileIndexing
Dossier: 10034606

Legal Date: 05-25-2004

No.	Doccode	Number of pages
1	ECBOX	1

Total number of pages: 1

Remarks:

Order of re-scan issued on